

Белорусский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе и
образовательным инновациям
О.И. Чуприс
«04» 12 2019 г.



Регистрационный № УД-7614/уч.

**Лаборатория специализации «Атомная, молекулярная спектроскопия и
люминесценция»**

**Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности:**

1-31 04 01 Физика (по направлениям)
направления специальности: 1-31 04 01-02 Физика (производственная деятельность)

2019 г.

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 04 01-2013, учебных планов №G31-162/уч. и №G31и-177/уч. от 30.05.2013 г.

СОСТАВИТЕЛИ:

К.Ф. Ермалицкая – доцент кафедры лазерной физики и спектроскопии физического факультета Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент.

Л.С. Ляшенко – доцент кафедры лазерной физики и спектроскопии физического факультета Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент.

И.М. Гулис – профессор кафедры лазерной физики и спектроскопии физического факультета Белорусского государственного университета, доктор физико-математических наук, профессор.

РЕЦЕНЗЕНТ:

Самцов М.П. – заведующий лабораторией спектроскопии НИИПФП им. А.Н. Севченко, доктор физико-математических наук.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой лазерной физики и спектроскопии физического факультета Белорусского государственного университета
(протокол № 6 от 12 ноября 2019 г.)

Советом физического факультета
(протокол № 4 от 28 ноября 2019 г.)

Зав.кафедрой _____ Толстик А.Л.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Цели и задачи учебной дисциплины

Цель учебной дисциплины – сформировать у студентов навыки работы со спектрометрами, регистрации и последующей обработки спектров, создания методик качественного и количественного анализа многокомпонентных сплавов и растворов; сформировать основы глубоких знаний в области получения и анализа спектров поглощения и люминесценции молекул разной степени сложности.

Задачи учебной дисциплины:

1. Ознакомление студентов с основами атомно-эмиссионного анализа, методами возбуждения и регистрации спектров, спектральными методами определения температуры плазмы электрических разрядов.
2. Изучение студентами современных экспериментальных методов молекулярной спектроскопии, а также освоение фундаментальных основ поглощения, преобразования и испускания света молекулами и молекулярными системами.
3. Формирование представления о различных спектрах молекулы (вращательные, колебательные и электронно-колебательные) и особенно об их изменениях при агрегации молекул в нанокластеры и кристаллы.
4. Дать представление о механизмах преобразования энергии в атомных и молекулярных системах, сопровождающихся излучательными переходами, о формировании спектральных, кинетических и поляризационных характеристик люминесценции, которые являются источником информации о протекающих в системах процессах.

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста с высшим образованием: дисциплина «Лаборатория специализации «Атомная, молекулярная спектроскопия и люминесценция» дает возможность получить студентам знания, которые должны позволить им грамотно не только выбрать из имеющегося арсенала приборов и средств измерений, необходимые для получения экспериментальных данных при выполнении курсовых и дипломных работ, но и оптимизировать режимы их работы. Кроме того, студенты, после усвоения материала дисциплины, должны уметь критически оценивать результаты экспериментальных спектроскопических исследований, приведенных в различных научных изданиях.

Учебная дисциплина относится к циклу дисциплин специализации компонента учреждения высшего образования.

Связи с другими учебными дисциплинами, включая учебные дисциплины компонента учреждения высшего образования, дисциплины специализации и др: Программа дисциплины основывается на знаниях и представлениях, полученных при изучении дисциплин «Атомная, молекулярная спектроскопия и люминесценция», «Введение в специализацию. Электромагнитная природа света. Экспериментальная спектроскопия». Сведения, приобретенные в ходе изучения дисциплины,

важны для более глубокого и качественного усвоения дисциплин «Физика лазеров и нелинейная оптика» и «Когерентная оптика и голография. Современные лазерные технологии».

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины «Лаборатория специализации «Атомная, молекулярная спектроскопия и люминесценция» должно обеспечить формирование следующих академических, социально-личностных и профессиональных компетенций:

Академические компетенции:

- АК-1. Уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач.
- АК-2. Владеть системным и сравнительным анализом.
- АК-3. Владеть исследовательскими навыками.
- АК-4. Уметь работать самостоятельно.
- АК-5. Быть способным порождать новые идеи (обладать креативностью).
- АК-6. Владеть междисциплинарным подходом при решении проблем.
- АК-7. Иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией и работой с компьютером.
- АК-8. Обладать навыками устной и письменной коммуникации.
- АК-9. Уметь учиться, повышать свою квалификацию в течение всей жизни.

Социально-личностные компетенции:

- СЛК-2. Быть способным к социальному взаимодействию.
- СЛК-3. Обладать способностью к межличностным коммуникациям.
- СЛК-5. Быть способным к критике и самокритике.
- СЛК-6. Уметь работать в команде.

Профессиональные компетенции:

- ПК-1. Применять знания теоретических и экспериментальных основ физики, современных технологий и материалов, методы исследования физических объектов, методы измерения физических величин, методы автоматизации эксперимента.
- ПК-2. Использовать новейшие открытия в естествознании, методы научного анализа, информационные образовательные технологии, физические основы современных технологических процессов, научное оборудование и аппаратуру.
- ПК-3. Проводить планирование и реализацию физического эксперимента, оценивать функциональные возможности сложного физического оборудования.
- ПК-4. Пользоваться глобальными информационными ресурсами, компьютерными методами сбора, хранения и обработки информации,

системами автоматизированного программирования, научно-технической и патентной литературой.

– ПК-5. Осуществлять поиск, систематизацию и анализ информации по перспективным направлениям развития отрасли, инновационным технологиям, проектам и решениям.

– ПК-6. Применять полученные знания фундаментальных положений физики, экспериментальных, теоретических и компьютерных методов исследования, планирования, организации и ведения научно-исследовательской, научно-производственной и научно-педагогической работы.

– ПК-15. Применять знания физических основ современных технологий, средств автоматизации, методов планирования и организации производства, правового обеспечения хозяйственной деятельности и налоговой системы, современного предпринимательства, государственного регулирования экономики и экономической политики.

В результате освоения учебной дисциплины студент должен:

знать:

- основные понятия спектрального анализа,
- различные виды спектрального анализа,
- источники возбуждения спектров и методы их регистрации;
- теоретические основы формирования вращательных, колебательных и электронных спектров молекул разной степени сложности;
- закономерности в спектральных, кинетических и поляризационных характеристиках люминесценции молекулярных систем;
- методы измерения электронных, колебательных и вращательных спектров поглощения и люминесценции;
- методы получения информации об энергетических, структурных и динамических характеристиках молекулярных систем.

уметь:

- выбирать аналитический спектральный диапазон и аналитические спектральные линии;
- проводить калибровку спектрального диапазона, выбирать оптимальные параметры регистрации эмиссионных спектров;
- выбирать стандартные образцы для построения градуировочных графиков для количественного анализа многокомпонентных сплавов;
- оценить погрешность анализа и рассчитать коэффициент корреляции линейной аппроксимации и стандартное отклонение;
- анализировать взаимосвязь между строением молекулярных систем и их спектральными характеристиками, а также характеристиками люминесценции;
- проводить интерпретацию инфракрасных спектров поглощения и спектров комбинационного рассеяния молекул различной степени сложности;
- проводить расчет числа колебаний многоатомных молекул, исходя из группы симметрии молекул;

– проводить планирование аппаратурно-методического обеспечения спектроскопических исследований.

владеть:

– методами качественного, полуколичественного и количественного анализа многокомпонентных сплавов и растворов;

– совокупностью современных спектрально – аналитических методик, обладающих широкой областью практических применений.

Структура учебной дисциплины

Дисциплина изучается в 6 семестре. Всего на изучение учебной дисциплины «Лаборатория специализации «Атомная, молекулярная спектроскопия и люминесценция» отведено:

– для очной формы получения высшего образования – 64 часов, в том числе 42 аудиторных часа, из них: лабораторные занятия – 42 часа.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 1,5 зачетные единицы.

Форма текущей аттестации – зачет.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Раздел 1. Атомная спектроскопия.

Тема 1.1. Спектральные приборы для атомно-эмиссионного анализа. Устройство и принцип работы спектральных приборов на примере спектрометров ИСП-30, ДФС-542, МДР-23. Методы регистрации спектров: визуальный, фотографический, фотоэлектрический. Разрешающая способность спектрального прибора. Понятие нормальной ширины щели. Лазерный двухимпульсный спектрометр – особенности двухимпульсной абляции, оптическая схема, программное обеспечение.

Тема 1.2. Аналитический спектральный диапазон. Понятие спектра, спектральной линии, формула для интенсивности спектральной линии, выбор аналитических спектральных линий и аналитического спектрального диапазона для проведения элементного анализа многокомпонентных объектов. Калибровка аналитического спектрального диапазона: грубая и точная с использованием реперных линий и аппроксимацией полиномом.

Тема 1.3. Качественный и полуколичественный спектральный анализ многокомпонентных сплавов. Основы качественного анализа многокомпонентных сплавов методом лазерной эмиссионной спектроскопии, выбор аналитического спектрального промежутка для проведения полуколичественного анализа на лазерном спектрометре. Метод появления и усиления спектральных линий. Оценка погрешности метода полуколичественного анализа методом лазерной эмиссионной спектроскопии с использованием стандартных образцов многокомпонентных сплавов на основе меди.

Тема 1.4. Количественный спектральный анализ многокомпонентных сплавов. Выбор аналитических спектральных линий элементов для проведения количественного спектрального анализа. Экспериментальный выбор оптимальных параметров лазерного излучения для проведения элементного анализа. Регистрация лазерных эмиссионных спектров комплекта стандартных образцов и исследуемого образца. Создание методики количественного анализа с помощью программного обеспечения лазерного спектрометра. Построение градуировочных графиков зависимости интенсивности аналитических спектральных линий от концентрации элемента в стандартном образце, расчет коэффициента корреляции линейной аппроксимации экспериментальных данных. Определение концентрации элементов в многокомпонентных сплавах, расчет погрешности количественного анализа. Использование относительных координат для построения градуировочных графиков при определении концентрации основных компонентов сплава.

Раздел 2. Молекулярная спектроскопия.

Тема 2.1. Колебательно-вращательные спектры двухатомных молекул

Изучить устройство спектрофотометра 75 IR. Зарегистрировать колебательно-вращательный спектр молекулы CO. Определить из спектра значение волновых чисел и вращательных квантовых чисел колебательно-вращательных полос Р- и R-ветвей спектра. Определить значение вращательной постоянной, значение момента инерции I молекулы CO, рассчитать величину межатомного расстояния. Оценить погрешность измерения.

Тема 2.2. ИК-спектры поглощения многоатомных молекул

Зарегистрировать спектр полистирола. Провести градуировку прибора. Получить и интерпретировать ИК-спектры: а) Молекулы бензола (C_6H_6); б) Неорганических ионов NO_3^- , SO_4^{2-} - различной симметрии. Оценить ошибку в определении частоты линий (полос).

Тема 2.3. Интерпретация электронного спектра поглощения бензола

Изучить устройство автоматического спектрофотометра М-40. Получить электронный спектр бензола в УФ-области спектра и интерпретировать его.

Тема 2.4. Спектроскопия КР рассеяния света жидких и твердых веществ.

Изучить устройство прибора ДФС-52. Записать спектр КР четыреххлористого углерода. Измерить степень деполяризации линий КР. Оценить возможные ошибки измерения. Записать спектр КР бензола. Оценить степень деполяризации линий КР. Рассчитать число колебаний молекулы бензола, исходя из группы симметрии D_{6h} . Сформулировать и привести правила отбора для линий КР бензола. Сравнить экспериментальные данные с теоретически рассчитанными. Оценить возможные ошибки измерения.

Раздел 3. Люминесценция.

Тема 3.1. Изучение спектров поглощения и люминесценции сложных молекул. Изучить устройство универсальной люминесцентной установки, методик регистрации спектров люминесценции и возбуждения. Экспериментально проверить основные закономерности для спектров поглощения и испускания сложных молекул в растворах. Определить из анализа спектров температуру, сопоставить с температурой опыта.

Тема 3.2. Изучение законов затухания люминесценции. Изучить установку для измерения кинетики флуоресценции в наносекундном диапазоне. Изучить методы измерения длительностей и законов затухания люминесценции. Рассчитать длительности затухания растворов родамина 6Ж в спирту и флуоресцеина в 0,1 М водном растворе NaOH.

Тема 3.3. Измерение квантового выхода люминесценции. Изучить методику измерения квантового выхода флуоресценции относительным методом. Определить значение квантового выхода флуоресценции флуоресцеина в 0,1 М водном растворе NaOH.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Дневная форма получения образования с применением дистанционных образовательных технологий

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Атомная спектроскопия							
1.1	Спектральные приборы для атомно-эмиссионного анализа				4			Устный опрос, отчет
1.2	Аналитический спектральный диапазон				4			Устный опрос, отчет
1.3	Качественный и полуколичественный спектральный анализ многокомпонентных сплавов				4			Устный опрос, отчет
1.4	Количественный спектральный анализ многокомпонентных сплавов				4			Устный опрос, решение кейса.
2	Молекулярная спектроскопия							
2.1	Колебательно-вращательные спектры двухатомных молекул				4			Устный опрос, отчет
2.2	ИК-спектры поглощения многоатомных молекул				4			Устный опрос, отчет
2.3	Интерпретация электронного спектра поглощения бензола				4			Устный опрос, отчет

2.4	Спектроскопия КР рассеяния света жидких и твердых веществ				4			Устный опрос, отчет, учебная дискуссия
3	Люминесценция							
3.1	Изучение спектров поглощения и люминесценции сложных молекул				4			Устный опрос, отчет
3.2	Изучение законов затухания люминесценции				4			Устный опрос, отчет
3.3	Измерение квантового выхода люминесценции				2			Устный опрос, отчет, презентация индивидуальных проектов
Итого					42			Зачет

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Перечень основной литературы

1. Атомная и молекулярная спектроскопия. Молекулярная спектроскопия / М. А. Ельяшевич ; предисл. чл.-корр. РАН Л. А. Грибова . Изд. 7-е . Москва : URSS : Ленанд, 2015. 527 с.
2. Атомная и молекулярная спектроскопия. Атомная спектроскопия / М. А. Ельяшевич ; предисл. чл.-корр. РАН Л. А. Грибова . Изд. 6-е . Москва: URSS : ЛИБРОКОМ, 2017. 415 с.
3. Атомная и молекулярная спектроскопия. Общие вопросы спектроскопии / М. А. Ельяшевич ; предисл. чл.-корр. РАН Л. А. Грибова . Изд. стер. Москва : URSS : ЛИБРОКОМ, 2014 . 236 с.
4. Молекулярная спектроскопия: основы теории и практика: Учебное пособие / Под ред. проф. Ф.Ф. Литвина. - М.: НИЦ Инфра-М, 2013. - 263 с.
5. Фриш С.Э. Оптические спектры атомов: Учебное пособие. - СПб.: Издательство "Лань", 2017. - 656 с.
6. К. Бенуэлл. Основы молекулярной спектроскопии. Изд. "Мир". М, 2015. – 986 с.
7. М.В. Волькенштейн, Л.А. Грибов, М.А. Ельяшевич, Б.И. Степанов. Колебания молекул. Изд. "Наука", М. . – 2017. – 854 с.
8. Н.Б. Барковский, А.И. Комяк, Д.С. Умрейко. Симметричные представления в спектроскопии молекул. Минск, Изд. БГУ, 2016. – 142 с.
9. А.И. Комяк. Молекулярная спектроскопия. Мн., Изд. БГУ, 2015. – 356 с.
10. И.М. Гулис, А.И. Комяк. Люминесценция. Мн., БГУ, 2015. – 453 с.
11. Л.В. Левшин, А.М. Салецкий. Люминесценция и ее измерение. М., МГУ. – 2019. – 473 с.
12. С. Паркер. Фотолюминесценция растворов. М., Мир. – 2014 с. – 463 с.
13. В.А. Гайсенок, А.М. Саржевский. Анизотропия поглощения и люминесценции многоатомных молекул. Минск, БГУ. – 2016. – 351 с.
14. Gupta, V.P. Molecular and Laser Spectroscopy: Advances and Applications / V.P. Gupta // Elsevier, 2018. – 362 p.
15. Baudelet, M. Laser Spectroscopy for Sensing. Fundamentals, Techniques and Applications / M. Baudelet // Woodhead Publishing, 2014. – 592 p.
16. Rehse, S.J. / S.J. Rehse // Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy. – Vol. 154. – 2019. – P. 50-69.

Перечень дополнительной литературы

1. Шпольский Э.В. Атомная физика, т.1. Введение в атомную физику. - СПб.: Издательство "Лань", 2010

2. Камалова Д.И. Лекции по прикладной инфракрасной спектроскопии: учебное пособие / Д.И. Камалова, М.Х. Салахов. - Казань: Казанский государственный университет, 2009. 167 с.
3. Летохов В.С. Нелинейные селективные фотопроцессы в атомах и молекулах М.: Наука, 1984.
4. Сизых А.Г. Спектроскопия. Ч.1.Атомная спектроскопия. Учебное пособие. Краснояр.гос.ун-т. – Красноярск, 2004.
5. Вайнштейн Л.А. Атомная спектроскопия (спектры атомов и ионов). – М.: Изд-во МФТИ, 2011. – 235 с.
6. П.П.Феофилов. Поляризованная люминесценция атомов, молекул и кристаллов. М., 2011. – 643 с.
7. Г.В.Майер, В.И.Данилова. Квантовая химия, строение и фотоника молекул. Томск, ТГУ, 2014. – 361 с.
8. В.Л.Ермолаев, Е.Н.Бодунов, Е.Б.Свешникова, Т.А.Шахвердов. Безызлучательный перенос энергии электронного возбуждения. М., Наука. – 2017. – 331 с.
9. Б.И.Степанов, В.П.Грибковский. Введение в теорию люминесценции. Минск, 2013. – 543 с.
10. Н.Г. Бахшиев. Спектроскопия межмолекулярных взаимодействий. Л., ЛГУ, 2012. – 261 с.
11. Лакович Дж. Основы флуоресцентной спектроскопии. М.:Мир, 2016.– 231 с.
12. Пентин Ю.А. Основы молекулярной спектроскопии: уч. пособие / Ю.А. Пентин, Г.М. Курамшина. – М.: Мир: БИНОМ, Лаборатория знаний, 2008. – 398 с.
13. Пупышев А.А. Масс-спектрометрия с индукционно-связанной плазмой. Образование ионов / А.А. Пупышев, В.Т. Суриков. – Екатеринбург: УрО РАН, 2006. – 276 с.

Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой оценки

1. Отчет по лабораторной работе, включающий расчет погрешностей вычислений.
 2. Устный опрос.
 3. Презентация индивидуальных проектов по разделу «Люминесценция».
 4. Решение кейса по разделу «Атомная спектроскопия».
 5. Учебная дискуссия по разделу «Молекулярная спектроскопия».
- Формой текущей аттестации по дисциплине «Лаборатория специализации «Атомная, молекулярная спектроскопия и люминесценция» учебным планом предусмотрен зачет
- Итоговая оценка формируется на основе:

1. Правил проведения аттестации студентов, курсантов, слушателей при освоении содержания образовательных программ высшего образования (постановление Министерства Образования Республики Беларусь № 53 от 29 мая 2012 г);

2. Положения о рейтинговой системе оценки знаний студентов по дисциплине в Белорусском государственном университете (№ 382-ОД от 18.08.2015 г.);

3. Критериев оценки знаний и компетенций студентов по 10-бальной шкале.

При формировании итоговой оценки используется рейтинговая оценка знаний студента, дающая возможность проследить и оценить динамику процесса достижения целей обучения. Рейтинговая оценка предусматривает использование весовых коэффициентов для текущего контроля знаний и текущей аттестации студентов по дисциплине.

Весовые коэффициенты, определяющие вклад текущего контроля знаний и текущей аттестации в рейтинговую оценку:

- Отчеты по лабораторной работе – 20 %;
- Устные ответы по теме выполняемой лабораторной работы – 20 %;
- Презентация индивидуальных проектов по разделу «Люминесценция» – 20 %;
- Участие в групповом решении кейса по разделу «Атомная спектроскопия» – 20 %.
- Участие в учебной дискуссии по разделу «Молекулярная спектроскопия» - 20%.

К зачету допускаются студенты, чья оценка текущей успеваемости не менее 4 баллов.

Примерная тематика лабораторных занятий

1. Спектральные приборы для атомно-эмиссионного анализа. Устройство и принцип работы спектральных приборов на примере спектрометров ИСП-30, ДФС-542, МДР-23. Методы регистрации спектров: визуальный, фотографический, фотоэлектрический.

2. Аналитический спектральный диапазон. Понятие спектра, спектральной линии, формула для интенсивности спектральной линии, выбор аналитических спектральных линий и аналитического спектрального диапазона для проведения элементного анализа многокомпонентных объектов.

3. Качественный и полуколичественный спектральный анализ многокомпонентных сплавов. Основы качественного анализа многокомпонентных сплавов методом лазерной эмиссионной спектроскопии, выбор аналитического спектрального промежутка для проведения полуколичественного анализа на лазерном спектрометре. Метод появления и усиления спектральных линий. Оценка погрешности метода полуколичественного анализа методом лазерной эмиссионной спектроскопии с

использованием стандартных образцов многокомпонентных сплавов на основе меди.

4. Количественный спектральный анализ многокомпонентных сплавов. Создание методики количественного анализа с помощью программного обеспечения лазерного спектрометра. Определение концентрации элементов в многокомпонентных сплавах, расчет погрешности количественного анализа. Использование относительных координат для построения градуировочных графиков при определении концентрации основных компонентов сплава.

5. Колебательно-вращательные спектры двухатомных молекул. Изучить устройство спектрофотометра 75 IR. Зарегистрировать колебательно-вращательный спектр молекулы CO. Определить из спектра значение волновых чисел и вращательных квантовых чисел колебательно-вращательных полос P- и R-ветвей спектра. Определить значение вращательной постоянной, значение момента инерции I молекулы CO, рассчитать величину межатомного расстояния. Оценить погрешность измерения.

6. ИК-спектры поглощения многоатомных молекул. Зарегистрировать спектр полистирола. Провести градуировку прибора. Получить и интерпретировать ИК-спектры: а) Молекулы бензола (C_6H_6); б) Неорганических ионов NO_3^- , SO_4^{2-} - различной симметрии. Оценить ошибку в определении частоты линий (полос).

7. Интерпретация электронного спектра поглощения бензола. Изучить устройство автоматического спектрофотометра М-40. Получить электронный спектр бензола в УФ-области спектра и интерпретировать его.

8. Спектроскопия КР рассеяния света жидких и твердых веществ. Изучить устройство прибора ДФС-52. Записать спектр КР четыреххлористого углерода. Измерить степень деполяризации линий КР. Оценить возможные ошибки измерения. Записать спектр КР бензола. Оценить степень деполяризации линий КР. Рассчитать число колебаний молекулы бензола, исходя из группы симметрии D_{6h} . Сформулировать и привести правила отбора для линий КР бензола. Сравнить экспериментальные данные с теоретически рассчитанными. Оценить возможные ошибки измерения.

9. Изучение спектров поглощения и люминесценции сложных молекул. Изучить устройство универсальной люминесцентной установки, методик регистрации спектров люминесценции и возбуждения. Экспериментально проверить основные закономерности для спектров поглощения и испускания сложных молекул в растворах. Определить из анализа спектров температуру, сопоставить с температурой опыта.

10. Изучение законов затухания люминесценции. Изучить установку для измерения кинетики флуоресценции в наносекундном диапазоне. Изучить методы измерения длительностей и законов затухания люминесценции. Рассчитать длительности затухания растворов родамина 6Ж в спирту и флуоресцеина в 0,1 М водном растворе NaOH.

11. Измерение квантового выхода люминесценции. Изучить методику измерения квантового выхода флуоресценции относительным методом. Определить значение квантового выхода флуоресценции флуоресцеина в 0,1 М водном растворе NaOH.

**Описание инновационных подходов и методов к преподаванию
учебной дисциплины (эвристический, проективный,
практико-ориентированный)**

При организации образовательного процесса по дисциплине «Лаборатория специализации «Атомная, молекулярная спектроскопия и люминесценция» используется **метод учебной дискуссии**, который предполагает участие студентов в целенаправленном обмене мнениями, идеями для предъявления и/или согласования существующих позиций по определенной проблеме. При представлении **индивидуальных проектов** по темам управляемой самостоятельной работы студенты принимают участие в групповой учебной дискуссии, анализируют представленную информацию, высказывают свое мнения и предположения о перспективных направлениях развития данных отраслей.

Использование метода обеспечивает появление нового уровня понимания изучаемых тем, применение знаний (теорий, концепций) при решении проблем, определение способов их решения.

При организации образовательного процесса используется **метод анализа конкретных ситуаций (кейс-метод)**, который предполагает:

- приобретение студентом знаний и умений для решения практических задач;
- анализ ситуации, используя профессиональные знания, собственный опыт, дополнительную литературу и иные источники.

При организации образовательного процесса по дисциплине Лаборатория специализации «Атомная, молекулярная спектроскопия и люминесценция» используется **практико-ориентированный подход**, который предполагает:

- освоение содержание образования через решения практических задач по атомной, молекулярной спектроскопии и люминесценции;
- приобретение навыков эффективного выполнения разных видов профессиональной деятельности;
- ориентацию на генерирование идей, реализацию групповых студенческих проектов, развитие предпринимательской культуры;
- использованию процедур, способов оценивания, фиксирующих сформированность профессиональных компетенций.

Примерный перечень кейсов

В дисциплине «Лаборатория специализации «Атомная, молекулярная спектроскопия и люминесценция» студентам для решения предлагается один из следующих кейсов:

1. определить подлинность картины (масляные краски), датируемой XIX веком методом лазерно-эмиссионной спектроскопии.
2. определить ценность (подлинность, состав) ювелирного изделия методом лазерно-эмиссионной спектроскопии.
3. определить подлинность старинной монеты методом лазерно-эмиссионной спектроскопии.

Примерный перечень тем учебной дискуссии

1. Виды движения в свободной молекуле. Формирование спектра молекулы.
2. Вращательные спектры свободной молекулы. Правила отбора в спектре.
3. Колебание свободной двухатомной молекулы.
4. Колебания многоатомной молекулы в классической механике. Симметрия колебаний.
5. Правила отбора по симметрии на примере молекулы бензола.
6. Точечные группы симметрии для многоатомных молекул.
7. Характеристические колебания в многоатомных молекулах.
8. Электронно-колебательные спектры двухатомных молекул. Принцип Франка-Кондона.
9. Электронно-колебательные спектры многоатомных молекул. Правила отбора в электронно-колебательных спектрах.
10. Ассоциация молекул. Образование кластеров. Электронные спектры кластеров.
11. Электронные спектры молекулярных кристаллов. Образование экситонов.
12. Экситон-фотонные взаимодействия в молекулярных кристаллах.
13. Электронные спектры полупроводниковых кристаллов. Экситон Ванье-Мотта.
14. Полупроводниковые наночастицы. Получение и их электронные спектры.

Примерный перечень индивидуальных проектов

1. В чем различие между тушением люминесценции первого и второго рода?
2. Объяснить, почему при возбуждении линейно поляризованным светом люминесценция изотропного ансамбля молекул может быть поляризованной.

3. Что требуется для выполнения зеркальной симметрии спектров поглощения и флуоресценции?

4. Почему возможен перенос по индуктивно-резонансному механизму триплет-синглетный (переход с испусканием в доноре запрещен!)?

5. Почему наиболее выраженное длинноволновое смещение спектра флуоресценции растворов сложных молекул в условиях неоднородного уширения при увеличении длины волны возбуждающего света имеет место на длинноволновом краю полосы поглощения?

6. Как изменяется с температурой интенсивность термически активированной замедленной флуоресценции?

7. Как можно приближенно оценить время жизни флуоресценции молекулы, не прибегая к его непосредственным измерениям?

8. Как изменяется время затухания люминесценции при тушении первого рода?

9. Может ли изотропный ансамбль молекул (раствор) излучать поляризованную люминесценцию при возбуждении *неполяризованным* светом?

10. Почему для выполнения зеркальной симметрии спектры люминесценции и поглощения представляют в координатах $\frac{W(\nu)}{\nu^4}$ и $\frac{k(\nu)}{\nu}$ соответственно?

11. По какому механизму разрешен триплет-триплетный перенос энергии?

12. Опишите ход температурной зависимости спектра флуоресценции дипольных молекул в полярном растворителе при понижении температуры.

13. Чем определяется расстояние между максимумами спектров флуоресценции и фосфоресценции?

14. Почему время затухания фосфоресценции существенно больше времени затухания флуоресценции?

15. Как выражается квантовый выход люминесценции через вероятности оптических и безызлучательных переходов?

16. Пусть в растворе имеет место вращательная деполяризация. Как изменится степень поляризации при тушении первого и второго рода?

17. Объяснить, как формируется поляризационный спектр.

18. На каких расстояниях реализуется обменно-резонансный перенос энергии?

19. Как изменяется положение спектра поглощения дипольных молекул в полярном растворителе при понижении температуры? Почему?

20. Как соотносятся формы спектра поглощения и спектра возбуждения люминесценции? Какие условия должны быть выполнены, чтобы эти формы совпадали?

21. Приведите возможно большее число примеров систем, для которых затухание люминесценции является неэкспоненциальным.

Примерный перечень вопросов к зачету

1. Физические основы атомно-эмиссионного спектрального анализа.
2. Основные характеристики оптических схем спектральных приборов.
3. Оптические схемы ИСП-30, ДФС-452, МДР-23.
4. Основные характеристики плазмы.
5. Плазма электрических разрядов.
6. Электрические схемы высоковольтной конденсированной искры, дуги постоянного и переменного тока.
7. Задачи качественного, полуколичественного и количественного анализа.
8. Методы полуколичественного анализа веществ.
9. Преимущества и недостатки безэталонных методов анализа.
10. Особенности построения градуировочных графиков для количественного анализа.
11. Число колебательных степеней свободы многоатомной молекулы.
12. Колебания многоатомной молекулы в классической механике. Нормальные колебания.
13. Колебания многоатомной молекулы в квантовой механике.
14. Форма нормальных колебаний.
15. Симметрия молекул. Элементы симметрии.
16. Точечные группы симметрии молекул.
17. Отнесение колебаний по типам симметрии.
18. Расчет числа колебаний различных типов симметрии для тетраэдрической группы.
19. Дипольный момент молекулы и его преобразование при различных симметричных преобразованиях на примере молекулы воды (симметрия C_{2v}).
20. Строение и свойства молекулы бензола.
21. Валентные электроны в молекуле и природа химических связей в бензоле.
22. Законы поглощения света многоатомной молекулой. Коэффициент молярной экстинкции.
23. Правила отбора в электронных спектрах многоатомных молекул.
24. Симметрия молекулярных орбиталей молекулы бензола.
25. Уровни энергии молекулы бензола и заполнение их электронами.
26. Симметрия нижних и верхних электронных состояний молекулы бензола.
27. Электронно-колебательное взаимодействие. Эффект Герцберга-Теллера.
28. Сила осциллятора электронных переходов (запрещенных и разрешенных).
29. Условия выполнимости универсального соотношения Б.И.Степанова.

30. Что требуется для выполнения зеркальной симметрии спектров поглощения и флуоресценции?

31. Какими факторами определяется зависимость чувствительности люминесцентной установки от длины волны?

32. Почему вторичная люминесценция не компенсирует искажения в спектре флуоресценции, вызванные реабсорбцией?

33. Чем определяется расстояние между максимумами спектров флуоресценции и фосфоресценции?

34. Приведите примеры систем, для которых затухание люминесценции является неэкспоненциальным.

35. Укажите и разъясните преимущества статистического одноквантового метода в сравнении с известными вам другими методами измерения кинетики затухания флуоресценции в наносекундном диапазоне.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Лаборатория специализации «Физика лазеров и нелинейная оптика»	Кафедра лазерной физики и спектроскопии	нет	Оставить без изменений протокол № 6 от 12 ноября 2019 г.
Когерентная оптика и голография. Современные лазерные технологии	Кафедра лазерной физики и спектроскопии	нет	Оставить без изменений протокол № 6 от 12 ноября 2019 г.

**ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ ПО
ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

на ____ / ____ учебный год

№ п/п	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
_____ (протокол № ____ от _____ 202_ г.)

Заведующий кафедрой

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета
